

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-281229
(43)Date of publication of application : 31.10.1997

(51)Int.Cl.

G01S 13/88

G01S 7/20

G01V 3/12

(21)Application number : 08-091137
(22)Date of filing : 12.04.1996

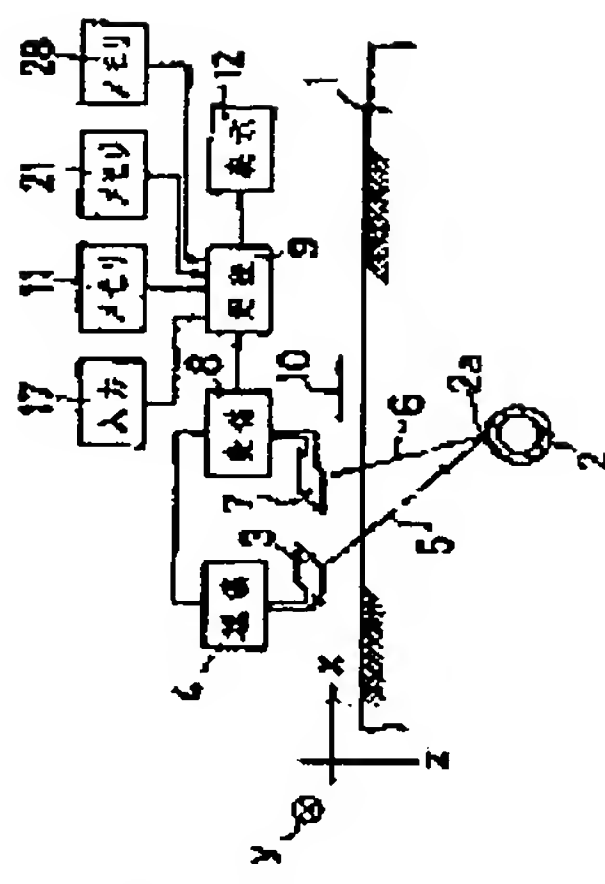
(71)Applicant : OSAKA GAS CO LTD
(72)Inventor : HIGUCHI MICHIRU
HAYAKAWA HIDEKI

(54) METHOD AND DEVICE FOR SEARCHING BURIED OBJECT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable three-dimensional visualization display by lessening the influence of the deterioration of an S/N even if the intervals of the scanning of a soil section are increased and the number of scanning times thereof is decreased.

SOLUTION: The image of the soil section is obtd. by scanning the soil section with an antenna 3 having wider directivity in a first direction x. Such scanning is executed in each section position of every relatively large interval D=0.2 to 1.0m in a second direction y. The respective section images are stored into a memory 11. The images are integrated in the peak part of an underground buried pipe 2 by synthetic aperture arithmetic processing 9. Three- dimensional intensity distributions of plural gradations are obtd. by interpolation computation between the adjacent scanning positions in the second direction y by using the data subjected to the synthetic aperture arithmetic processing. The intensity obtd. in such a manner is subjected to level discrimination and binarization as it is and only the respective coordinate positions of the large intensity are visually observed like dots. Only the segments at which the added value of the intensity on the many predetermined segments is above the predetermined level are displayed.



特許公報 J P 抄録

特許第3256655号

(P 3 2 5 6 6 5 5)

(45) 発行日 平成14年(2002)2月12日

(24) 登録日 平成13年(2001)11月30日

請求項の数9

(全14頁)

(51) Int. Cl. ⁷
G01S 13/88
7/20
G01V 3/12

識別記号

F I
G01S 13/88
7/20
G01V 3/12

(21) 特願平8-91137

(22) 平成8年(1996)4月12日

(65) 特開平9-281229

(43) 平成9年(1997)10月31日

(56) 参考文献 特開 平3-261888 (JP, A)
特開 平6-138223 (JP, A)
特開 平6-138250 (JP, A)

(58) 調査した分野(Int. Cl. ⁷, DB名)
G01S 7/00 - 7/64
G01S 13/00 - 13/95

【審査請求日】平成12年(2000)1月17日

[続きあり]

(73) 特許権者 大阪瓦斯株式会社

大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号

(72) 発明者 樋口 みちる (外1名)

審査官 宮川 哲伸

(54) 【発明の名称】埋設物の探査方法および装置

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の一形態の全体の電氣的構成を示すブロック図である。

【図2】送信アンテナ3および受信アンテナ7に関する信号の波形図である。

【図3】第1方向xに走査することによって得られる地中埋設鋼管2の原画像を示す図である。

【図4】処理回路9の全体の動作を説明するためのフローチャートである。

【図5】合成開口演算処理を説明するための断面図である。

【図6】各走査位置毎の原画像を用いてsinc関数による補間演算動作を説明する図である。

【図7】sinc関数を示す図である。

【図8】補間演算する線形補間によって求める手法を説

[続きあり]

【産業上の利用分野】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、土壌などの隠蔽場所に埋設されている管などの埋設物を地上で探査するための方法および装置に関する。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第1方向に沿って走査するとともに、

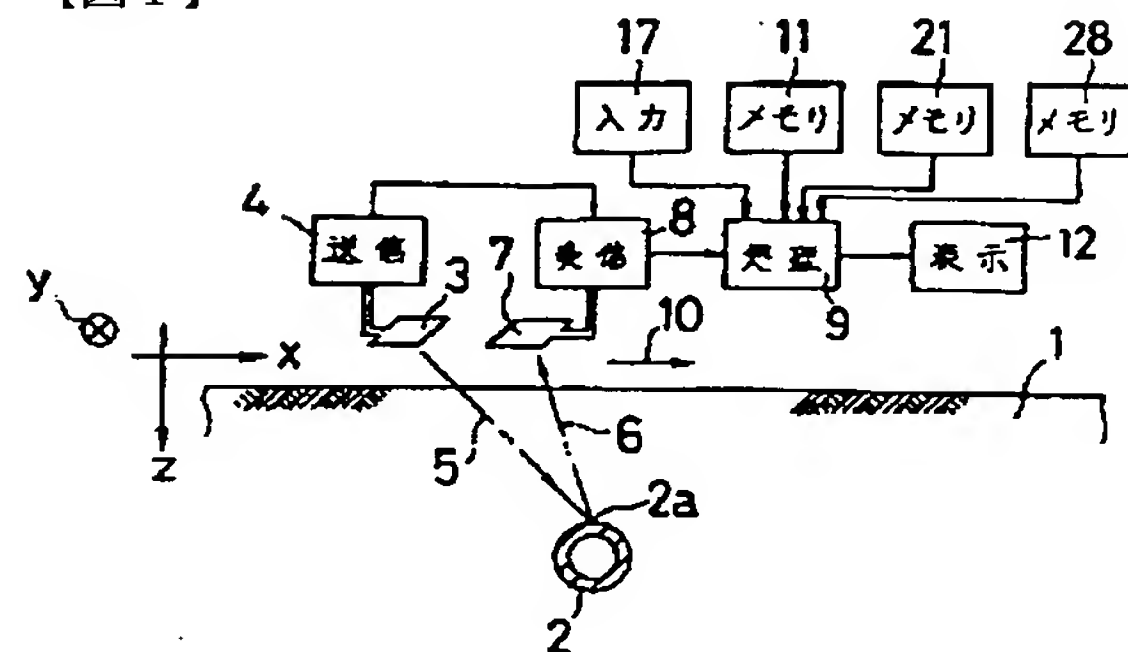
その走査を、第1方向に交差する第2方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、

アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、

放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、

メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アン

【図1】



テナに比べて狭い第1方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、

合成開口演算処理されたデータを、第2方向に隣接する走査位置間で補間演算して3次元の各座標位置における複数階調の3次元の強度分布を求め、

こうして得られた3次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、

前記補間演算は、第2方向の座標yの前後に隣接する複数nの各走査位置の間隔をDとし、強度をf_iとすると、補間して得られる強度Q、

【数1】

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求めることを特徴とする埋設物の探査方法。

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号
特許第3256655号
(P 3 2 5 6 6 5 5)

(45) 発行日 平成14年 2 月12日 (2002. 2. 12)

(24) 登録日 平成13年11月30日 (2001. 11. 30)

(51) Int. Cl. ⁷

G01S 13/88
7/20
G01V 3/12

識別記号
F I
G01S 13/88
7/20
G01V 3/12

G
B

請求項の数 9 (全14頁)

(21) 出願番号 特願平8-91137

(22) 出願日 平成 8 年 4 月12日 (1996. 4. 12)

(65) 公開番号 特開平9-281229

(43) 公開日 平成 9 年10月31日 (1997. 10. 31)

審査請求日 平成12年 1 月17日 (2000. 1. 17)

(73) 特許権者 000000284
大阪瓦斯株式会社
大阪府大阪市中央区平野町四丁目 1 番 2 号

(72) 発明者 樋口 みちる
大阪府大阪市中央区平野町四丁目 1 番 2 号 大阪瓦斯株式会社内

(72) 発明者 早川 秀樹
大阪府大阪市中央区平野町四丁目 1 番 2 号 大阪瓦斯株式会社内

(74) 代理人 100075557
弁理士 西教 圭一郎

審査官 宮川 哲伸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 埋設物の探査方法および装置

1

(57) 【特許請求の範囲】
【請求項 1】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第 1 方向に沿って走査するとともに、その走査を、第 1 方向に交差する第 2 方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、合成開口演算処理されたデータを、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求め、こうして得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、前記補間演算は、第 2 方向の座標 y の前後に隣接する複数 n の各走査位置の間隔を D とし、強度を f i とするとき、補間して得られる強度 Q、
【数 1】

2
ナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、合成開口演算処理されたデータを、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求め、こうして得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、前記補間演算は、第 2 方向の座標 y の前後に隣接する複数 n の各走査位置の間隔を D とし、強度を f i とするとき、補間して得られる強度 Q、
【数 1】

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求めることを特徴とする埋設物の探査方法。

【請求項 2】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第 1 方向に沿って走査するとともに、

その走査を、第 1 方向に交差する第 2 方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、

アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、

放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、

メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、

合成開口演算処理されたデータを、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求め、

こうして得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、

前記補間演算のために、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、M 次（M は自然数）のスプライン関数を設定し、

このスプライン関数は、そのスプライン関数の値と微分値とが前記 2 つの走査位置で連続するように各次の変数の係数が定められ、

このスプライン関数によって補間演算を行うことを特徴とする埋設物の探査方法。

【請求項 3】 前記判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元の目視表示手段に表示することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の埋設物の探査方法。

【請求項 4】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第 1 方向に沿って走査するとともに、

その走査を、第 1 方向に交差する第 2 方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、

アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、

放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、

メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アン

テナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、

合成開口演算処理されたデータを、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求め、

10 こうして得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、

前記判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元の目視表示手段に表示し、

第 2 方向に隣接する 2 つの予め定める位置間で、前記 2 つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算し、

20 加算した強度を予め定めるレベルで 2 値化し、加算した強度がその予め定めるレベル以上である線分を表示することを特徴とする埋設物の探査方法。

【請求項 5】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、

移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、

アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、

30 送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、

メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、

40 合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、

補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、

判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、

50 補間演算手段は、第 2 方向の座標 y の前後に隣接する複数 n の各走査位置の間隔を D とし、強度を f_i とすると

き、補間して得られる強度 Q 、

【数 2】

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求め、

前記判別手段は、各座標位置の強度を、予め定めるレベルで 2 値化し、強度が予め定めるレベル以上である座標位置を出力して目視表示手段によって表示させることを特徴とする埋設物の探査装置。

【請求項 6】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、

移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、

アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、

送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、

ストアするメモリと、

メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記ア

ンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、

合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、

補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、

判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、

補間演算手段は、第 2 方向の座標 y の前後に隣接する複数 n の各走査位置の間隔を D とし、強度を f_i とするとき、補間して得られる強度 Q 、

【数 3】

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求め、

前記判別手段は、

第 2 方向に隣接する 2 つの予め定める位置間で、前記 2 つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算する手段と、加算手段の出力に応答し、その加算した強度を予め定めるレベルで 2 値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を出力して目視表示手段によってその線分を表示させる手段とを含むことを特徴とする埋設物の探査装置。

【請求項 7】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、

移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、

アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、

送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、

メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記ア

ンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、

合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、

補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、

判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、

前記補間演算手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、 M 次 (M は自然数) のスプライン関数を設定し、

このスプライン関数は、そのスプライン関数の値と微分値とが前記 2 つの走査位置で連続するように各次の変数の係数が定められ、

このスプライン関数によって補間演算を行い、

前記判別手段は、各座標位置の強度を、予め定めるレベルで 2 値化し、強度が予め定めるレベル以上である座標

位置を出力して目視表示手段によって表示させることを特徴とする埋設物の探査装置。

【請求項 8】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、

移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、

アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、

送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、

メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、

合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、

補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、

判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、

前記補間演算手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、M 次（M は自然数）のスプライン関数を設定し、

このスプライン関数は、そのスプライン関数の値と微分値とが前記 2 つの走査位置で連続するように各次の変数の係数が定められ、

このスプライン関数によって補間演算を行い、

前記判別手段は、

第 2 方向に隣接する 2 つの予め定める位置間で、前記 2 つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算する手段と、

加算手段の出力に応答し、その加算した強度を予め定めるレベルで 2 値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を出力して目視表示手段によってその線分を表示させる手段とを含むことを特徴とする埋設物の探査装置。

【請求項 9】 埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、

移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、

アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁

波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、

送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、

メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、

合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、

補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、

判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、

前記補間演算手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、その隣接する前記走査位置の強度を線形補間し、

前記判別手段は、

第 2 方向に隣接する 2 つの予め定める位置間で、前記 2 つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算する手段と、

加算手段の出力に応答し、その加算した強度を予め定めるレベルで 2 値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を出力して目視表示手段によってその線分を表示させる手段とを含むことを特徴とする埋設物の探査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、土壌などの隠蔽場所に埋設されている管などの埋設物を地上で探査するための方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】典型的な先行技術は、昭和 62 年電子情報通信学会半導体・材料部門全国大会第 2-297 頁～2-298 頁に記載された「電波ホログラフィー法雪中レーダにおける三次元画像データの表示法」である。この先行技術では、マイクロ波の周波数を掃引しながら送受信アンテナを 2 次元平面で走査し 3 次元のホログラムデータを得て、これを数値的に像再生を行って 3 次元レーダ像を得ている。したがって、ホログラムも再生レーダ像も 3 次元データであり、 $x-y-z$ で示される空間に割り当てられたデータである。しかし、陰極線管（C

R T) のような 2 次元表示装置で、この 3 次元データを表示する場合、3 次元を 2 次元に次元を落とす必要がある。その 1 つの方法としては 2 次元のスクリーン上の画素 (Pixel) から出発する視線が 3 次元データの値のある体素 (voxel) にぶつかったときこのデータの値を表示する。これはいわば 3 次元物体の表面を 2 次元表面に投影して表示していることになる。さらに奥行き方向は画像の濃淡に変換して表示する。つまりスクリーンから近くにある画素ほど明るく、遠くにある画素ほど暗く表示する。このため 3 次元物体 (あるいはホログラム) は、しきい値により強度がある、なしに 2 値化され、スクリーンの位置が定められると視線とぶつかる最初の強度のある場所が探索され、濃淡値が付加され表示される。

【0 0 0 3】この先行技術では、3 次元データを用いてホログラフィー処理を行うためには、複数の土壌断面の画像を、充分細かい間隔で得る必要がある。したがって多数回の走査を行わなければならない、作業に手間がかかるという問題がある。

【0 0 0 4】他の先行技術は、昭和 6 3 年電気学会全国大会第 1 3 7 2 頁「地中埋設物探査レーダシステム (その 3) 三次元探査画像処理」である。この先行技術では、複数回の走査による測定断面情報を用い、複数のすべての断面画像中の同一位置に埋設物の像が得られたときには、管が埋設されているものと判断し、またそれよりも少ない数の断面の同一位置に埋設物の像が得られるときには塊状物が埋設されたものと判断し、このようにして異なる断面に存在する像との結合是非を判断し、3 次元構造を求める。

【0 0 0 5】この先行技術では、各断面のシンボル表示を 3 次元的に連結しているので、S/N 比の低いデータがある場合には、管または塊状物の判定を誤ることが多

い。

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、隠蔽場所の表面上における電磁波の放射および埋設物による反射波の受信を行いつつ走査する回数を、できるだけ減少して、作業性を良好にし、しかも S/N 比に左右されることなく、埋設物を正確に探査することができるようにした埋設物の探査方法および装置を提供することである。

10 【0 0 0 7】

【課題を解決するための手段】本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第 1 方向に沿って走査するとともに、その走査を、第 1 方向に交差する第 2 方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、合成開口演算処理されたデータを、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求め、こうして得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、前記補間演算は、第 2 方向の座標 y の前後に隣接する複数 n の各走査位置の間隔を D とし、強度を f i とするとき、補間して得られる強度 Q、

【数 4】

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求めることを特徴とする埋設物の探査方法である。また本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第 1 方向に沿って走査するとともに、その走査を、第 1 方向に交差する第 2 方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、合成開口演算処理されたデータを、第 2 方向に隣接する走査位置間で補

間演算して 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求め、こうして得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、前記補間演算のために、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、M 次 (M は自然数) のスプライン関数を設定し、このスプライン関数は、そのスプライン関数の値と微分値とが前記 2 つの走査位置で連続するように各次の変数の係数が定められ、このスプライン関数によって補間演算を行うことを特徴とする埋設物の探査方法である。また本発明は、前記判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元の目視表示手段に表示することを特徴とする。

【0008】また本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面に向けて指向性を有するアンテナを、表面上で第1方向に沿って走査するとともに、その走査を、第1方向に交差する第2方向にずれた複数の各走査位置毎に行ない、アンテナ走査中に、アンテナにパルスを与え、埋設物による反射波を受信し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に対応する深度と、その深度における反射波の強度とを求めて、各走査位置の断面画像をメモリにストアし、メモリのストア内容を合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第1方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による深度に対応する反射波の強度のデータに変換し、合成開口演算処理されたデータを、第2方向に隣接する走査位置間で補間演算して3次元の各座標位置における複数階調の3次元の強度分布を求め、こうして得られた3次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に対応する値を、判別し、前記判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を2次元の目視表示手段に表示し、第2方向に隣接する2つの予め定める位置間で、前記2つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算し、加算した強度を予め定めるレベルで2値化し、加算した強度がその予め定めるレベル以上である線分を表示することを特徴とする埋設物の探査方法である。

【0009】また本発明は、埋設物の埋設されている隠

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求め、前記判別手段は、各座標位置の強度を、予め定めるレベルで2値化し、強度が予め定めるレベル以上である座標位置を出力して目視表示手段によって表示させることを特徴とする埋設物の探査装置である。

【0010】また本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第1方向に走査する移動体と、移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、送受信手段の出力に应答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第1方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第1方向に垂直な第2方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第1方向の指向性を有する仮想アンテナ

蔽場所の表面上を第1方向に走査する移動体と、移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、送受信手段の出力に应答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第1方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第1方向に垂直な第2方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第1方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、合成開口演算処理手段の出力に应答し、第2方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3次元の各座標位置における複数階調の3次元の強度分布を求める補間演算手段と、補間演算手段の出力に应答し、3次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、判別手段の出力に应答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を2次元画面に目視表示する手段とを含み、補間演算手段は、第2方向の座標yの前後に隣接する複数nの各走査位置の間隔をDとし、強度を f_i とすると、補間して得られる強度Q、

【数5】

によって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、合成開口演算処理手段の出力に应答し、第2方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3次元の各座標位置における複数階調の3次元の強度分布を求める補間演算手段と、補間演算手段の出力に应答し、3次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、判別手段の出力に应答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を2次元画面に目視表示する手段とを含み、補間演算手段は、第2方向の座標yの前後に隣接する複数nの各走査位置の間隔をDとし、強度を f_i とすると、補間して得られる強度Q、

【数6】

$$Q = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\}$$

を求め、前記判別手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの予め定める位置間で、前記 2 つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算する手段と、加算手段の出力に応答し、その加算した強度を予め定めるレベルで 2 値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を出力して目視表示手段によってその線分を表示させる手段とを含むことを特徴とする埋設物の探査装置である。

【0011】また本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、前記補間演算手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、M 次（M は自然数）のスプライン関数を設定し、このスプライン関数は、そのスプライン関数の値と微分値とが前記 2 つの走査位置で連続するように各次の変数の係数が定められ、このスプライン関数によって補間演算を行い、前記判別手段は、各座標位置の強度を、予め定めるレベルで 2 値化し、強度が予め定めるレベル以上である座標位置を出力して目視表示手段によって表示させることを特徴とする埋設物の探査装置である。

【0012】また本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、送受信手段の出力に応答し、

放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める補間演算手段と、補間演算手段の出力に応答し、3 次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を 2 次元画面に目視表示する手段とを含み、前記補間演算手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの前記走査位置間で、M 次（M は自然数）のスプライン関数を設定し、このスプライン関数は、そのスプライン関数の値と微分値とが前記 2 つの走査位置で連続するように各次の変数の係数が定められ、このスプライン関数によって補間演算を行い、前記判別手段は、第 2 方向に隣接する 2 つの予め定める位置間で、前記 2 つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算する手段と、加算手段の出力に応答し、その加算した強度を予め定めるレベルで 2 値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を出力して目視表示手段によってその線分を表示させる手段とを含むことを特徴とする埋設物の探査装置である。

【0013】また本発明は、埋設物の埋設されている隠蔽場所の表面上を第 1 方向に走査する移動体と、移動体に設けられ、前記表面に向けて指向性を有するアンテナと、アンテナにパルスを与えてアンテナから隠蔽場所に電磁波を放射させ、その埋設物による反射波をアンテナで受信する送受信手段と、送受信手段の出力に応答し、放射した電磁波と受信した反射波との時間差に基づいて、第 1 方向に走査した走査位置の断面における深度と反射波の強度とを、前記表面上の第 1 方向に垂直な第 2 方向にずれた走査位置毎に、ストアするメモリと、メモリのストア内容を、合成開口演算処理して、前記アンテナに比べて狭い第 1 方向の指向性を有する仮想アンテナによって得られる等価な反射波による強度のデータに変換する合成開口演算処理手段と、合成開口演算処理手段の出力に応答し、第 2 方向に隣接する走査位置間で補間演算して、3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次

元の強度分布を求める補間演算手段と、補間演算手段の出力に応答し、3次元の各位置の強度を、そのまま、または演算して、予め定めるレベルでレベル弁別し、強度が前記レベル以上である位置またはその位置に関連する値を、判別する判別手段と、判別手段の出力に応答し、判別して得られた前記位置またはその位置に関連する値を2次元画面に目視表示する手段とを含み、前記補間演算手段は、第2方向に隣接する2つの前記走査位置間で、その隣接する前記走査位置の強度を線形補間し、前記判別手段は、第2方向に隣接する2つの予め定める位置間で、前記2つの予め定める各位置における座標位置の相互間を結ぶ線分上に存在する座標位置の強度を加算する手段と、加算手段の出力に応答し、その加算した強度を予め定めるレベルで2値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を出力して目視表示手段によってその線分を表示させる手段とを含むことを特徴とする埋設物の探査装置である。

【0014】本発明に従えば、隠蔽場所の表面に第1方向xに沿う指向性が広くてもよいアンテナを用いて、そのアンテナにパルスを与えて電磁波を放射し、埋設物による反射波を受信して時間差に対応する深度と、その深度における反射波の複数階調の強度とをメモリにストアして原画像を得る。このメモリのストア内容を合成開口演算処理して、たとえば地中埋設管である物標に対応した双曲線毎にそのデータの頂点に集積し、その映像の重みによる物標スポットを形成する。こうして得られた第2方向に間隔Dをあけて得られた各走査位置毎の合成開口演算処理されたデータを用いて、その第2方向yに隣接する2つの走査位置間で、 sinc 関数を用い、またはスプライン関数を用い、補間演算し、3次元の各座標位置における複数階調の3次元の強度分布を求める。第1方向xと第2方向yとは、直角以内の角度で交差していてもよい。

【0015】 sinc 関数を用いて補間演算することによって、第2方向に沿う反射波の強度のオーバーシュートまたはアンダーシュートなどを抑制することができ、第2方向に沿う滑らかな補間演算を行うことができる。またスプライン関数を用いる補間によれば、第2方向の走査間隔Dが異なっている走査位置間においても第2方向に沿う反射波強度の滑らかな補間演算を行うことができる。

【0016】本発明に従えば、補間演算によって得られた3次元の各位置の反射波の強度を、そのまま用いてレベル弁別して2値化し、前記予め定めるレベル以上である座標位置を求め、たとえば2次元目視表示手段によって隠蔽場所の第2方向に垂直な画像または第1方向に垂直な画像を得ることができ、またさらに斜視図で3次元透視図を得ることができる。

【0017】本発明の他の考え方に従えば、第2方向に隣接する2つの予め定める位置、たとえば2つの走査位

置間で、それらの各位置における座標位置の相互間を結ぶ多数の線分上に存在する複数の座標位置上の反射波の強度を加算し、加算して得られた値を予め定めるレベルでレベル弁別して2値化し、加算した強度が予め定めるレベル以上である線分を2次元目視表示手段に表示する。たとえば第2方向に垂直な画面に表示し、または第1方向に垂直な断面画像を表示し、さらには斜視図による3次元透視画像を表示するようにしてもよい。2次元目視表示手段は、たとえば陰極線管または液晶パネルによって実現することができる。この手法によれば、線分上の各座標位置における反射波の強度の加算値が予め定めるレベル以上である線分だけが目視表示されるので、隠蔽場所、たとえば土壌中の空洞または塊状物などを容易に判定し、したがって連続的に比較的長く延びる地中埋設管との区別をして、そのような空洞および塊状物などのノイズとなる像を除去するのに都合がよい。

【0018】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施の一形態の全体の電氣的構成を示すブロック図である。土壌1には、ガスなどの流体を輸送する鋼管などの管2が埋設されている。地上で、この管2の探知を行うために、送信回路4は、図2(1)に示されるパルスを発生し、送信アンテナ3に与える。これによって送信アンテナ3は、電波である電磁波を、土壌1に向けて放射する、この送信アンテナ3から放射された電磁波は、参照符5で示されるように土壌1内を進み、管2のたとえば頂部2aの近傍で反射され、その反射波は、参照符6で示されるように進んで、受信アンテナ7によって受信され、その受信アンテナ7の出力は受信回路8に与えられる。受信アンテナ7の出力は、図2(2)に示されるとおりである。送信アンテナ3に図2(1)で示されるパルスである信号が与えられて電磁波が送信アンテナ3から放射され、受信アンテナ7によって図2(2)で示される信号が受信されるまでの時間差 ΔT は、土壌1の表面と管2との距離に対応している。送信アンテナ3と受信アンテナ7とを一体的に移動体に固定して、図1の参照符10で示す第1方向xに、土壌1の表面に沿って地中埋設管2を横切るように移動することによって、管2を含む土壌1の鉛直面内での断面を検出することができる。アンテナ3、7を1つに兼用してもよい。

【0019】受信回路8の出力は、マイクロコンピュータなどによって実現される処理回路9に与えられる。この処理回路9にはメモリ11が接続され、このメモリ11には、管2を含む土壌1の鉛直断面の原画像がストアされる。このメモリ11に示される原画像は、たとえば図3に示されるとおりである。この原画像およびその演算処理の結果得られる画像がストアされたメモリ21の内容は、キーボードなどの入力手段17の操作などによって、目視表示手段12によって目視表示される。

【0020】受信アンテナ7によって受信される図2

(2) で示される波形では、中間階調を零とし、土壌 1 の座標位置の信号強度、すなわち輝度レベルをたとえば 2 5 6 の複数階調で表し、たとえば白を正とし、黒を負とする。図 3 に示されるように、メモリ 1 1 にストアされる原画像は管 2 に対応して白の円弧状の像 1 3 と黒の円弧状の像 1 4 とを有し、白の像 1 3 の円弧頂部を参照符 P 0 で示す。これらの像 1 3, 1 4 は土壌 1 の z 方向、すなわち深さ方向に平行な対称線 1 5 に関して左右対称である。管 2 は、直円筒状に形成され、水平軸線を有する。送受信アンテナ 3, 7 の移動走査方向 1 0 を第 1 方向 x と定める。

【0 0 2 1】第 1 方向 x にたとえば直角の角度で交差する第 2 方向 y 方向に、たとえば等しい間隔 D をあけて、第 1 方向 x の走査が繰返し各走査位置における原画像がメモリ 1 1 にストアされる。間隔 D は、0. 2 ~ 1 m であってもよく、約 0. 5 m であってもよい。

【0 0 2 2】図 4 は、処理回路 9 の全体の動作を簡略化して示すフローチャートである。ステップ a 1 において上述のように第 2 方向 y 毎の各位置で第 1 方向 x に走査されて得られた複数断面の原画像が上述のようにメモリ 1 1 にストアされて読込まれ、その後、ステップ a 2 においてメモリ 1 1 の内容の前処理が行われる。この前処理は、合成開口演算処理であって、これによって鋼管 2 の特徴を抽出する。こうして合成開口演算処理された結果は、各原画像に対応してメモリ 2 1 にストアされる。

【0 0 2 3】ステップ a 3 では、このメモリ 2 1 のストア内容に基づいて、第 2 方向 y の間隔 D を有する各空間毎に、その第 2 方向 y に垂直な横断画像および第 1 方向 x に垂直な縦断画像の各画像間を、データ補間する。この補間演算のために、s i n c 関数、スプライン関数で補間演算を行い、または線形補間を行う。こうして第 2 方向 y 間でたとえば 1 0 個の各位置における各断面画像の各座標位置における反射波の振幅強度の補間演算をして求める。第 2 方向 y に隣接する各走査位置の間にお

$$z^2 = (x - x_i)^2 + z_j^2 \quad \dots (1)$$

ここで原点 O をとり、管 2 の頂点 2 a の座標 P 0 (x_i, z_j) を設定する。

【0 0 2 8】この式 1 上に分散した信号の座標 P (x, z) を次の式 2 で加算すれば、それらは再び座標 P 0

$$Q(x_i, z_j) = \sum_{m=-R}^R \rho_m \cdot P(x_{i+m}, z_m) \quad \dots (2)$$

【0 0 3 0】ここで、

$$z_m = \sqrt{(x_{i+m} - x_i)^2 + z_j^2} \quad \dots (3)$$

であり、 ρ_m は重み関数である。この加算処理は、x 軸上に配列した (2 R + 1) 個のアンテナが、座標 P 0 (x_i, z_j) の位置に焦点が合っている状態、すなわち同相加算になるので、等価ビーム幅は、1 個のアンテナより鋭くなる。

【0 0 3 1】次に、図 6 および図 7 を参照して、メモリ 1 1 にストアされた各走査位置毎の原画像を用いて s i

る補間演算によって得られた 3 次元の各座標位置における複数階調の 3 次元の強度分布を求める。

【0 0 2 4】ステップ a 4 では、レベル弁別を行って後処理を行う。すなわち補間演算して得られた 3 次元の各位置の強度を、そのまま予め定めるレベルでレベル弁別して、強度が前記レベル以上である位置を判別する。これによって 3 次元ボリウムデータの体素 (voxel) の信号強度が予め定める前記レベルより強い信号だけを拾い上げる。また本発明の実施の他の形態では、この後処理では、補間演算して得られた 3 次元の各走査位置間における多数の直線状の各線分が通る座標位置における強度を加算し、その加算値が予め定める値であるレベル以上である線分だけを拾い上げる。こうしてレベル弁別を行う後処理をステップ a 4 において行うことによって、位置を探索すべき鋼管 2 だけを見付け、それ以外の埋設物による反射波の信号レベルを低減して S/N 比を向上することができる。

【0 0 2 5】ステップ a 5 では、ステップ a 4 で後処理された画像を、表示手段 1 2 によって目視表示し、こうして 3 次元画像の任意断面を表示することができ、また 3 次元透視図を表示し、この表示をするに当たっては、3 次元的に拡大、縮小および回転を可能とするようにしてもよい。

【0 0 2 6】先ず、前述のステップ a 2 における前処理に関してさらに説明する。メモリ 1 1 にストアされた原画像のストア内容に基づいて、次に述べるように、合成開口処理演算を行う。図 4 を参照して、送受信アンテナ 3, 7 を x 軸に沿って、矢符 1 0 のように走査すると、鋼管 2 の反射信号が次々に受信され、そのときの信号の前縁は、次の式 1 上に配置される。図 4 の参照符 1 6 で示されるラインは、前述の式 1 で示される双曲線である。

【0 0 2 7】

(x_i, z_j) に集められ、その座標 P 0 における信号レベル Q (x_i, z_j) は成長する。

【0 0 2 9】

【数 7】

n c 関数による補間演算動作を説明する。予め定める座標位置 (x, y, z) の強度を f とし、その平面 (x, z) が共通である第 2 方向 y が異なる各座標位置の強度を、(y, f) で表すことにする。

【0 0 3 2】第 2 方向 y に沿う各走査位置の間隔を同一の値 D としたとき、図 6 に示されるように x, z の各座標が同一であって y 座標がそれぞれ異なる各走査位置毎

の強度は、図 6 に示されるように、 (y_1, f_1) 、 (y_2, f_2) 、 (y_3, f_3) 、 \dots 、 (y_6, f_6) のように、得られたものとする。ここで sinc 関数を定義する。式 4 で示される sinc 関数は、図 7 に示さ

$$\text{sinc}\left(\frac{\pi}{D} \cdot y\right) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{D} \cdot y\right)}{\frac{\pi}{D} \cdot y} \quad \dots (4)$$

【0034】図 6 における補間されるべき位置 17 の強度 f は、第 2 方向 y の左右両側に 3 つの位置の値を用い、合計 6 つの位置の値を用いて、式 5 によって得られ

$$\begin{aligned} f &= y_1 \cdot \text{sinc} \frac{\pi}{D} (y - y_1) \\ &+ y_2 \cdot \text{sinc} \frac{\pi}{D} (y - y_2) \\ &+ \dots + y_6 \cdot \text{sinc} \frac{\pi}{D} (y - y_6) \\ &= \sum_{i=1}^n f_i \cdot \text{sinc} \left\{ \frac{\pi}{D} (y - y_i) \right\} \end{aligned} \quad \dots (5)$$

【0036】上述の実施の形態では、たとえば $n=6$ である。

【0037】本発明の実施の他の形態では、補間演算のためにスプライン関数が用いられる。第 2 方向 y の走査間隔 D 間で、 M 次 (M は自然数) のスプライン関数 f

$$f = a \cdot y^3 + b \cdot y^2 + c \cdot y + d \quad \dots (6)$$

$$f' = 3 \cdot a y^2 + 2 b \cdot y + C \quad \dots (7)$$

$$f'' = 6 \cdot a y + 2 b \quad \dots (8)$$

$$f''' = 6 a \quad \dots (9)$$

これらの式 6 ～式 9 は、第 2 方向 y に間隔 D をあけた各走査位置で実測された強度 f を有して連続するので、前記 4 つの方程式から、各係数 $a \sim c$ と定数 d を求めることができる。したがってこれらの係数 $a \sim c$ と定数 d が得られた式 6 で示されるスプライン関数 f に、各走査位置間における座標 y を代入することによって、補間された強度 f を演算して求めることができる。

$$f = \frac{y - y_1}{D} (f_2 - f_1) \quad \dots (10)$$

【0040】前述のレベル弁別をさらに説明する。このレベル弁別は、3 次元の各座標位置の実測および補間演算された強度である voxel 値を、予め定めるレベルで 2 値化することであり、その強度が予め定めるレベル以上である座標位置を、表示手段 12 で点状に表示することができる。すなわち図 9 の参照符 18 で示されるように 3 次元配列データの離散的なボリウムデータにおいて、図 9 の参照符 19 で示されるように、補間演算を行い、その 2 値化のレベル弁別を行って断面図を表示する電気回路であるモジュール 27 を用いて表示手段 12 で表示してもよく、また透視図表示の電気回路であるモジュール 27 を用いて表示手段 12 で表示するようにしてもよい。

【0041】図 10 は、各座標位置毎の強度である voxel

れるとおりである。

【0033】

【数 8】

る。

【0035】

【数 9】

を、式 6 のように設定し、その $1 \sim (M-1)$ 階の微分関数を式 7 ～式 9 のように得る。この実施の一形態では、スプライン関数 f は、たとえば 3 次式とし、その変数 y の 3 次、2 次、1 次の変数の各係数を a 、 b 、 c とし、定数を d とする。

【0038】補間演算はまた、図 8 に示されるように、第 2 方向 y の各走査間隔 D 間において、線形補間によって求めるようにしてもよい。線形補間のために、第 2 方向の座標 y の強度 f は、式 10 から求めることができる。

【0039】

【数 10】

1 値と、その座標位置の数とを表す。強度が予め定める値 L_1 以上である斜線 29 で示す座標位置は、地中埋設鋼管 2 の画像である可能性が大きいことになる。

【0042】さらに本発明の他の考え方では、図 9 の参照符 22 で示されるように、第 2 方向 y に隣接する 2 つの予め定める位置間、たとえば前述の間隔 D をあけた走査位置間で、各位置 23、24 における座標位置の相互間を結ぶ線分 25 上に存在する座標位置 26 の強度を求めて加算し、その加算した強度を予め定めるレベルでレベル弁別して 2 値化する。

【0043】図 11 は、この線分 25 をさらに説明するための簡略化した斜視図である。第 2 方向 y の各位置 22、23 における座標 $P_1 (x_1, y_1, z_1)$ と座標 $P_2 (x_2, y_2, z_2)$ を設定する。多数の線分 25

上に存在する座標位置の各強度を加算するために、図 1 2 の動作が行われる。

【0044】図 1 2 を参照して、ステップ b 1 からステップ b 2 に移り、図 1 に示されるメモリ 2 8 のアドレス k を零にリセットし、ステップ b 3, b 4 では、各断面

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} \quad \cdots (11)$$

【0046】ステップ b 5 では、先ず第 2 方向 y の座標を y 1 に設定し、次のステップ b 6, b 7 で、x 座標および z 座標をそれぞれ求める。

$$x = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \cdot (x_2 - x_1) + x_1 \quad \cdots (12)$$

$$z = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \cdot (z_2 - z_1) + z_1 \quad \cdots (13)$$

【0048】ステップ b 8 では、メモリ 2 8 のアドレス k に、ステップ b 5 ~ b 7 で設定した座標 (x, y, z) の強度である階調値を足し込んで加算する。

【0049】ステップ b 9 では、y を 1 だけインクリメントし、そのインクリメントした値が y 2 でなければ、ステップ b 6 に戻る。こうして 1 つの線分上に存在する各座標位置の強度がアドレス k を有するストア領域に加算されてゆく。

$$x_2 > x_{2max}$$

であれば、次のステップ b 1 4 においてアドレス k を 1 だけインクリメントし、次のステップ b 1 5 では、座標 z 2 を予め定める値 Δ z だけ加算してインクリメントし、そのインクリメントした座標 z 2 が、座標 z 2 に関

$$z_2 > z_{2max}$$

であれば、次のステップ b 1 7 でアドレス k を 1 だけインクリメントし、次のステップ b 1 8 では、座標 x 1 を予め定める Δ x だけ加算してインクリメントし、その加

$$x_1 > x_{1max}$$

であれば、次のステップ b 2 0 に移り、アドレス k を 1 だけインクリメントし、次のステップ b 2 1 では、座標 z 1 を予め定める Δ z だけ加算してインクリメントし、そのインクリメントした座標 z 1 が座標 z 1 に関する最

$$z_1 > z_{1max}$$

であれば、一連の動作をステップ b 2 3 で終了する。

【0055】こうしてメモリ 2 8 には、アドレス k に対応した各線分の加算値が得られる。こうして得られた各アドレス k 毎の加算値は、線分のライン数に対応して、図 1 3 のグラフが得られる。各線分毎の加算値が予め定めるレベル以上である斜線を施して示す領域 2 8 を有する線分だけを、表示手段 1 2 によって表示する。こうして得られた多数の線分によって表示される画像は、長手方向に延びる地中埋設鋼管 2 である。

【0056】図 1 4 は、アンテナ 3 または 7 の具体的な構成を示す。誘電体 3 1 の一方表面に一對の細長いかつ広幅の導体 3 2 が形成される。アンテナ 3 または 7 はこの細長い導体 3 2 の長手方向に垂直な第 1 方向 x に沿っ

2 2, 2 3 における初期座標 P 1, P 2 を設定する。これらの座標 P 1, P 2 を結ぶ直線は式 1 1 で示される。

【0045】

【数 1 1】

【0047】

【数 1 2】

【0050】ステップ b 9 でインクリメントされた値が y 2 に達すると、次のステップ b 1 1 においてアドレス k を 1 だけインクリメントし、ステップ b 1 2 では、座標 x 2 を予め定める値 Δ x だけ加算してインクリメントし、その座標 x が、その座標 x 2 に関する最大値 x 2 max 以下であれば、ステップ b 5 に戻って演算を繰返す。

【0051】ステップ b 1 3 において

$$\cdots (14)$$

する最大値 z 2 max 以下であれば、ステップ b 5 に戻って演算を繰返す。

【0052】ステップ b 1 6 において、

$$\cdots (15)$$

算した座標 x 1 が座標 x 1 に関する最大値 x 1 max 以下であれば、ステップ b 5 に移り、演算を繰返す。

【0053】ステップ b 1 9 において、

$$\cdots (16)$$

大値 z 1 max 以下であれば、ステップ b 5 に戻って演算を繰返す。

【0054】ステップ b 2 2 において、

$$\cdots (17)$$

て移動されて走査される。

【0057】本発明の実施の他の形態では、アンテナ 3 または 7 は、図 1 5 に示されるように誘電体 3 1 の一方表面に細長い直線状の導体 3 4 が形成される。

【0058】図 1 4 および図 1 5 に示される各アンテナ 3 または 7 において、誘電体 3 1 は、合成樹脂材料であってもよいけれども、空気であってもよい。アンテナ 3 または 7 は、図 1 4 および図 1 5 に示される構成であってもよいけれども、その他の構成であってもよい。

【0059】

【発明の効果】本発明によれば、第 1 方向 x に走査する走査位置を、その第 1 方向に交差する第 2 方向 y に比較的大きな間隔 D をあけて走査をしても、補間演算によっ

て隠蔽場所の 3 次元空間の反射波の強度分布を求めることができ、したがって隠蔽場所の走査回数を減少することができ、作業性が良好である。本件発明者によれば、たとえばこの第 2 方向 y の走査位置の間隔 D は、たとえば $0.2 \sim 1.0$ m であっても、地中埋設管などの探査を充分行うことができた。

【0060】また本発明によれば、補間演算して得られた隠蔽場所の 3 次元空間の反射波の強度が予め定めるレベル以上の座標位置だけが得られ、または予め定める線分上の強度の加算値が予め定めるレベル以上である線分だけを得ることができるようにしたので、ノイズを軽減し、 S/N 比を向上することができ、管などの長尺物と空洞または岩石などの塊状物との判定を誤ることなく行うことができるという優れた効果が達成される。こうして第 2 方向 y に比較的大きな間隔 D で走査しても、 S/N 比の劣化の影響が少ない隠蔽場所の 3 次元可視化表示を行うことができ、また地中埋設管などの構造物と岩石などの塊状物との識別を充分正確に行うことができ、さらに隠蔽場所の表面に対して傾斜した斜め管および上下に屈曲した伏越し管などの探査も確実に可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の一形態の全体の電氣的構成を示すブロック図である。

【図 2】送信アンテナ 3 および受信アンテナ 7 に関する信号の波形図である。

【図 3】第 1 方向 x に走査することによって得られる地中埋設鋼管 2 の原画像を示す図である。

【図 4】処理回路 9 の全体の動作を説明するためのフローチャートである。

【図 5】合成開口演算処理を説明するための断面図である。

【図 6】各走査位置毎の原画像を用いて sinc 関数による補間演算動作を説明する図である。

【図 7】 sinc 関数を示す図である。

【図 8】補間演算する線形補間によって求める手法を説明する図である。

【図 9】2 値化のレベル弁別を行う手法を説明する図である。

【図 10】各座標位置毎の強度である voxel 値と、その座標位置の数とを表すグラフである。

【図 11】線分 25 をさらに説明するための簡略化した斜視図である。

【図 12】多数の線分 25 上の強度を加算する動作を説明するためのフローチャートである。

【図 13】図 11 および図 12 によって得られる各線分上の加算値とそのライン数とを示すグラフである。

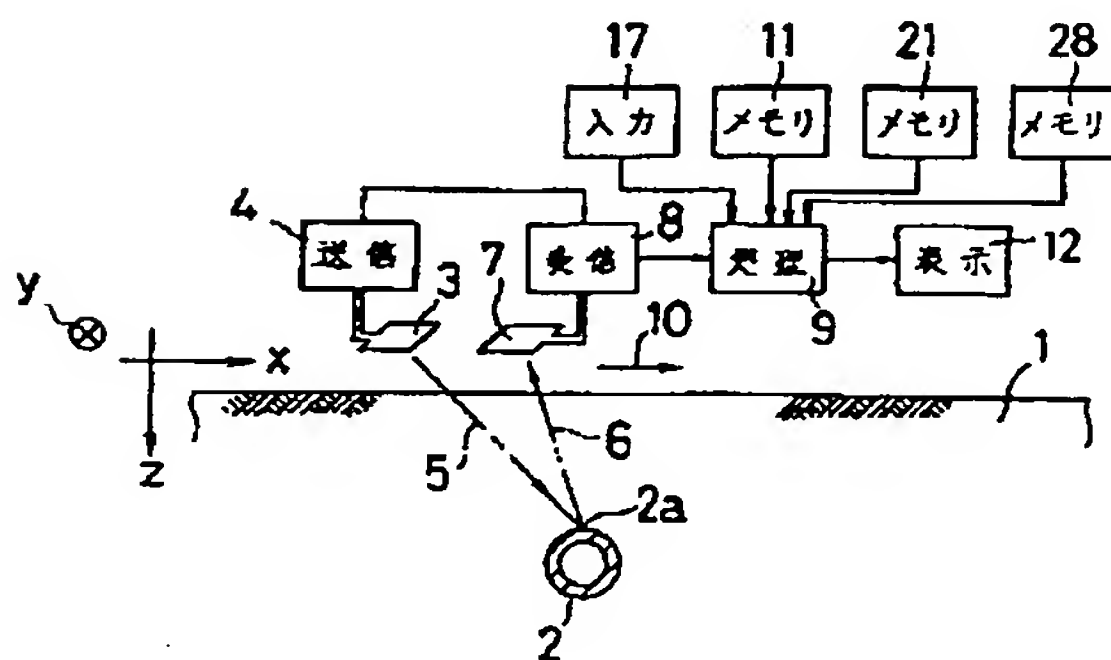
【図 14】アンテナ 3 または 7 の具体的な構成を示す斜視図である。

【図 15】本発明の実施の他の形態のアンテナ 3 または 7 の具体的な構成を示す斜視図である。

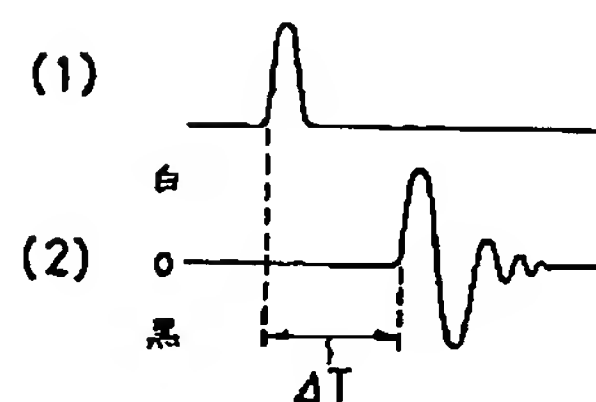
【符号の説明】

- 1 土壌
- 2 地中埋設鋼管
- 3 送信アンテナ
- 4 送信回路
- 7 受信アンテナ
- 8 受信回路
- 9 処理回路
- 11, 21, 28 メモリ
- 12 表示手段
- 17 入力手段
- 25 線分

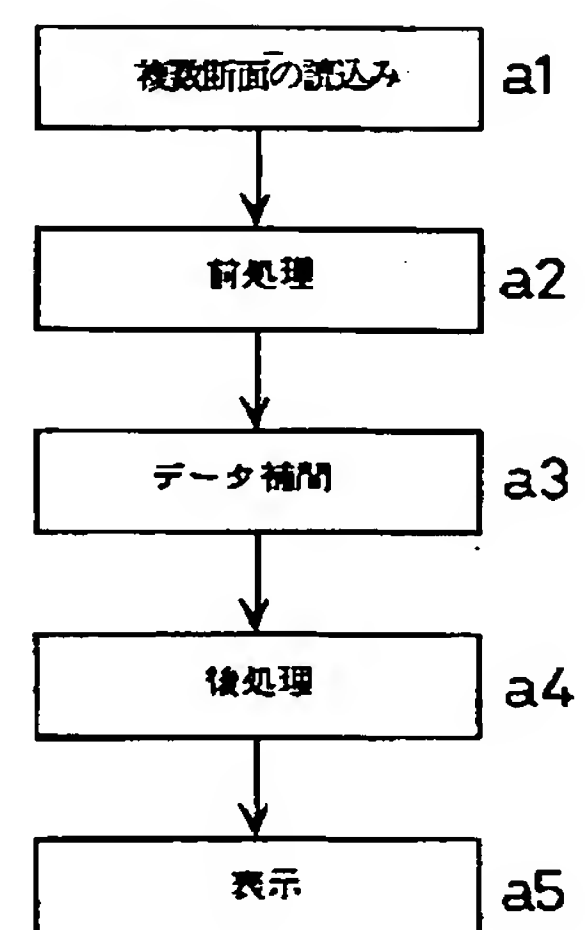
【図 1】



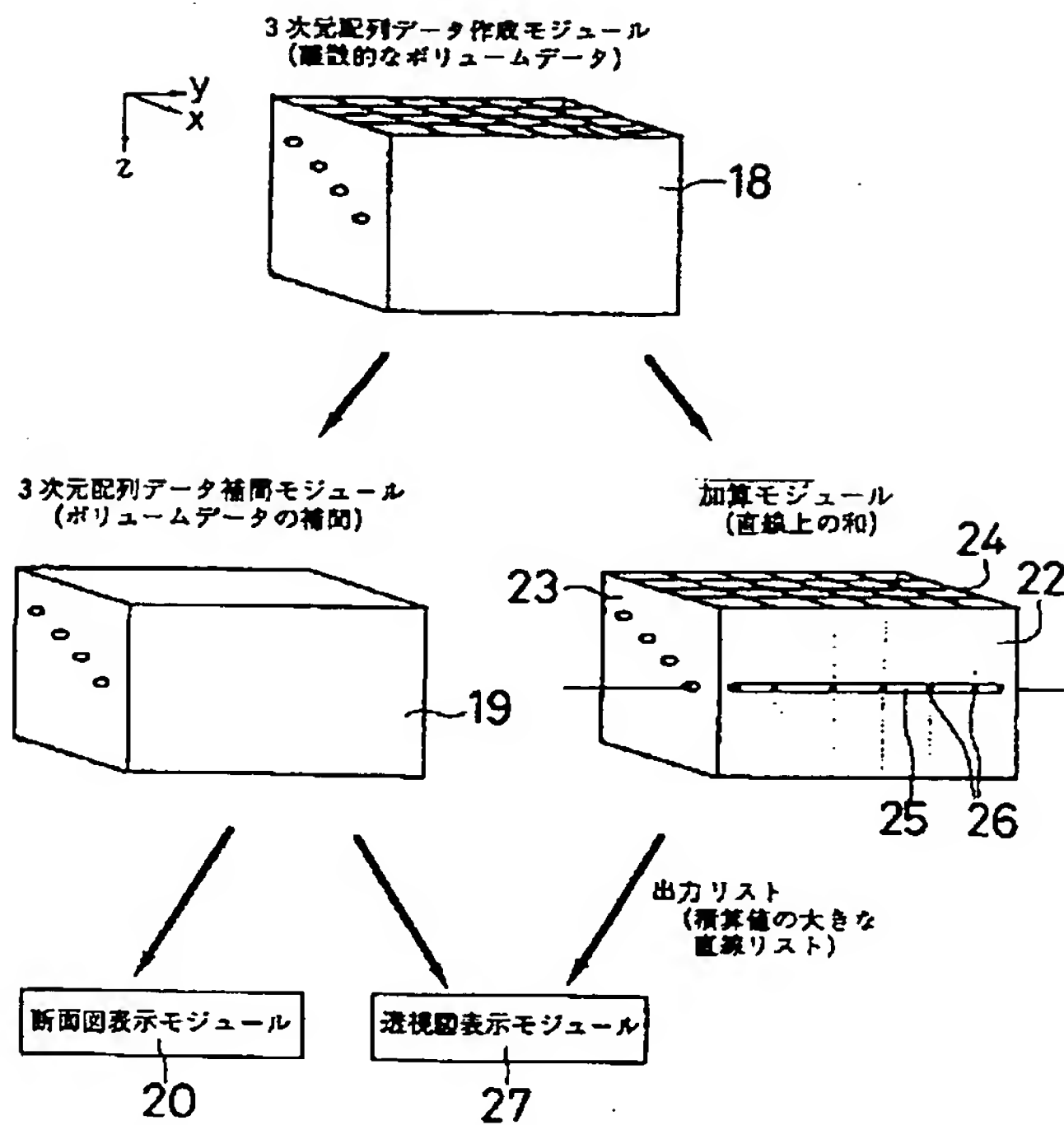
【図 2】



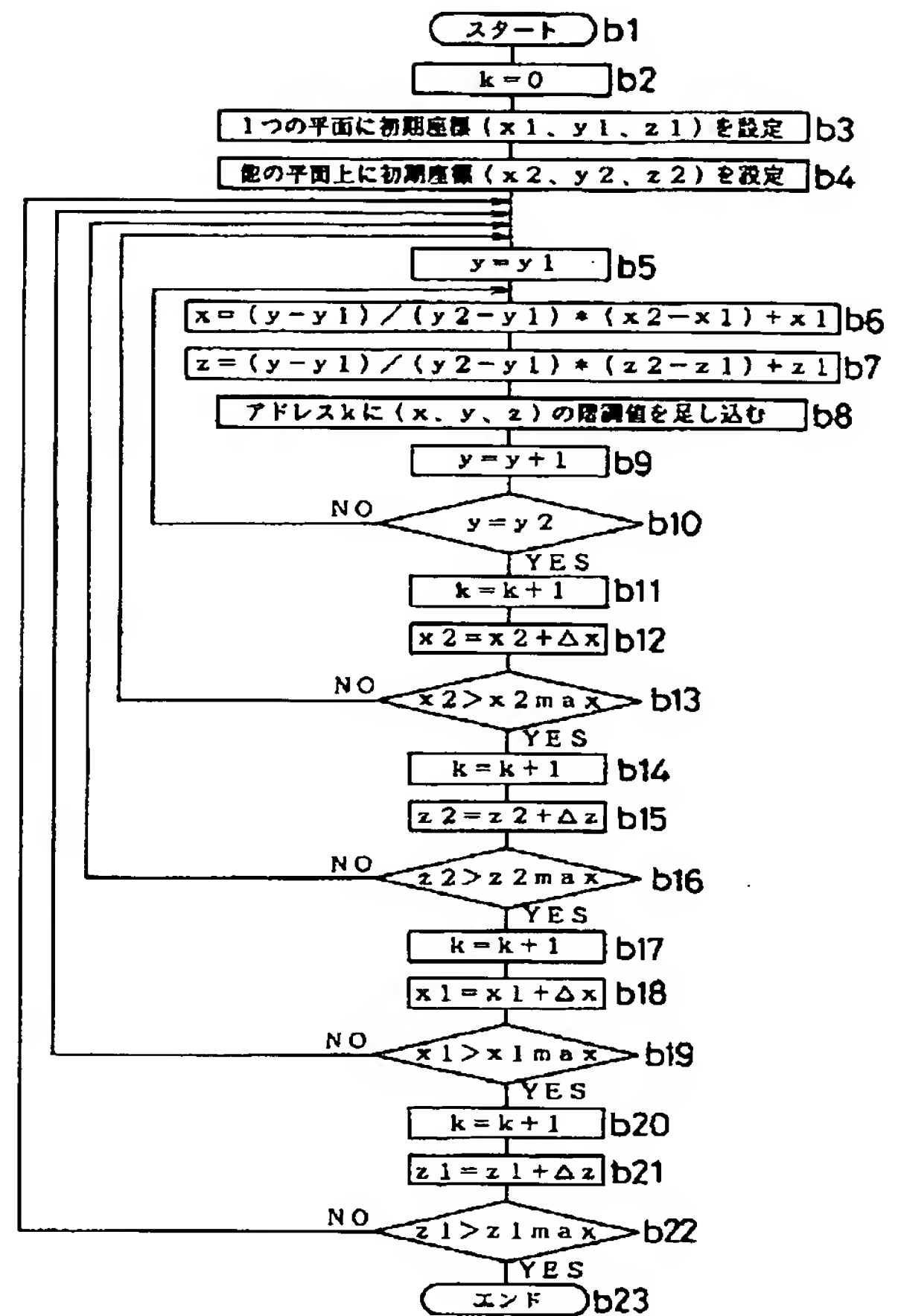
【図 4】



【図 9】



【図 12】



フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 平 3-261888 (JP, A)
 特開 平 6-138223 (JP, A)
 特開 平 6-138250 (JP, A)
 特開 平 7-270528 (JP, A)
 特開 平 7-49379 (JP, A)
 特公 平 4-76635 (JP, B2)
 特公 平 7-99392 (JP, B2)

(58) 調査した分野 (Int. Cl.⁷, DB名)
 G01S 7/00 - 7/64
 G01S 13/00 - 13/95
 G01V 3/12